



### III-131 - APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO PARA CONFEÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

**Paulo Monteiro Martins<sup>(1)</sup>**

Aluno de Graduação do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. Bolsista do Programa Bitec de Iniciação Tecnológica.

**Ricardo Franci Gonçalves**

Engenheiro Civil e Sanitarista. UERJ (1984), pós-graduado em Enga de Saúde Pública. ENSP/RJ (1985), DEA Ciências do Meio Ambiente. Universidade Paris XII, ENGREF, ENPC, Paris (1990), Doutor em Engenharia do Tratamento e Depuração de Águas. INSA de Toulouse, França (1993), Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental da UFES.

**Fernando Avancini Tristão**

Engenheiro Civil, UFES (1981). Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (1995). Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (2005). Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da UFES.

**Daniel Ernesto Otárola Tasaico**

Engenheiro Mecânico - Pontifícia Universidade Católica do Peru (1993). Mestre do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Espírito Santo (2007).

**Mirela Fazolo**

Aluna de Graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Olímpio Lúrio, 60 – Santa Lúcia – Vitória - ES - CEP: 29056-135 - Brasil - Tel: (27) 3324-6161. email: xmonteirox@gmail.com

#### RESUMO

Durante o beneficiamento (corte e polimento) de rochas ornamentais, a quantidade de resíduo gerada configura-se como uma questão de grande importância para as empresas no tocante ao manuseio, tratamento e disposição final do mesmo, gerando problemas técnicos, ambientais e econômicos. Muitas empresas descartam o resíduo de maneira irresponsável, sem a devida impermeabilização do solo, podendo causar sérios impactos ambientais. Além disso, as sanções impostas quando do descumprimento da legislação, ou os gastos com a disposição em aterro sanitário muitas vezes elevam os custos dos empresários. O aproveitamento deste material, incorporando-o no desenvolvimento de novos produtos, com o intuito de se minimizar os impactos ambientais e diminuir custos com a sua disposição em aterros sanitários apresenta-se, portanto, como uma importante alternativa para as empresas do setor.

Dessa forma, o presente trabalho vem relatar estudo realizado com tijolos de solo-cimento desenvolvidos com adição, em diferentes proporções, de resíduo proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais. Iniciou-se os trabalhos com a confecção de três traços referência (1:0,5:8; 1:0,5:10 e 1:0,5:14; cimento:resíduo:solo em volume), e em seguida, prosseguiu-se os estudos adicionando-se percentuais de resíduo aos diferentes traços de tijolos produzidos, tendo-se confeccionado, ao final dos trabalhos, um total de 10 traços. Para avaliação da qualidade dos tijolos, efetuaram-se ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

Os estudos realizados com os tijolos de solo-cimento com adição de resíduo do beneficiamento de rochas permitiram concluir que a adição do resíduo é viável tecnicamente, e pode ainda reduzir os custos de fabricação dos mesmos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo, Beneficiamento, Rochas Ornamentais, Tijolos, Solo-Cimento.

#### INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos cinco maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais no mundo. O Espírito Santo, por sua vez, responde por quase 40% da produção brasileira de rochas e concentra 60% da capacidade instalada de beneficiamento de blocos (ABIROCHAS, 2008).

A elevada capacidade produtiva das indústrias do estado sugere uma elevada geração de resíduos, cujo tratamento e adequada disposição não são possíveis para muitos empresários. A partir dessa constatação, fez-se necessário o desenvolvimento de estudos que visassem à incorporação do referido resíduo no desenvolvimento de novos produtos.



O presente trabalho contém estudos realizados com resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais provenientes de uma pequena empresa localizada no município da Serra, Região Metropolitana de Vitória, no Espírito Santo. A referida empresa não apresenta nenhum processo de tratamento do resíduo, de maneira que este é descartado diretamente em leito de secagem, numa área pertencente à empresa.

O trabalho foi dividido em três fases. A primeira configurou-se como a amostragem do resíduo e dos materiais utilizados na confecção dos tijolos, e teve início com a coleta do resíduo e com a caracterização do solo utilizado quanto a sua granulometria. A segunda etapa consistiu no estudo de confecção dos traços e execução de ensaios. Foram confeccionados os três primeiros traços, que seriam utilizados como referência para a escolha e fabricação dos demais traços. Após a fabricação de cada traço, executava-se ensaio de resistência à compressão e absorção de água. Após o término da produção dos traços e a conclusão de todos os ensaios, escolheu-se os dois traços que apresentaram o melhor desempenho para a realização da terceira fase, que consistiu numa análise comparativa de custos referentes à produção desses dois traços escolhidos contando com a adição do resíduo, e sem a adição de resíduo.

Dos estudos realizados, concluiu-se que a incorporação do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de tijolos de solo-cimento é tecnicamente viável, além de apresentar custos mais baratos do que a fabricação de tijolos sem o resíduo, configurando-se como uma boa alternativa para as empresas do setor no tocante ao tratamento e disposição do resíduo, pois prevê de maneira imediata a sua utilização, reduzindo gastos com licenciamento de áreas para descarte, transporte ou aterros, diminuindo também possíveis impactos ambientais e ainda contribuindo para a imagem das empresas, desenvolvendo uma nova tecnologia, social e ambientalmente responsável.

Os trabalhos foram desenvolvidos nas dependências do Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção (LEMAC) na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A atividade de extração e beneficiamento das rochas ornamentais se inicia nas lavras, pedreiras onde ocorre a extração dos blocos, que, em seguida, serão transportados para as serrarias para que sejam realizadas as etapas do beneficiamento. Em todas as etapas do processamento das rochas há geração de resíduo. Nesta pesquisa, será utilizado apenas o resíduo proveniente da serragem dos blocos.

No processo de corte das rochas, utiliza-se uma lama abrasiva, constituída por rocha moída e água, além de cal e granalha (ferro granulado), que lubrificam, resfria e evita a oxidação das lâminas de serragem que servem como abrasivo, facilitando o processo de corte (Reis, 2008). A coleta de lama proveniente do corte das rochas foi feita em uma pequena empresa localizada no município da Serra, no Espírito Santo, na qual não há nenhum processo de tratamento prévio do resíduo, sendo este descartado diretamente em leito de secagem em área pertencente à empresa.

A descrição das três etapas da pesquisa será apresentada a seguir.

### **PRIMEIRA ETAPA: AMOSTRAGEM DE RESÍDUO E MATERIAIS**

O resíduo foi coletado em uma empresa de beneficiamento de rochas localizada no município da Serra, no Espírito Santo. A lama proveniente do beneficiamento das rochas era destinada diretamente para um leito de secagem, situado em área nos fundos de seu terreno.

Com o auxílio de uma pá, uma enxada e uma concha metálica, foram colhidas cinco amostras de diferentes pontos do leito de secagem. As amostras foram dispostas em sacos plásticos transparentes, identificadas com fitas de papel e vedadas com fita adesiva. Cada saco armazenava de 20 à 30 kg. A presença de muita água nas amostras era visível. Em seguida, as amostras foram transportadas para o LEMAC-UFES, onde foram armazenadas.

Após ser transportado para o LEMAC-UFES, o resíduo foi retirado dos sacos por meio da utilização de conchas metálicas. Devido à ausência de um processo prévio de tratamento e ao grande volume descartado pelos teares, o resíduo se apresentava sob o aspecto de uma lama, com bastante umidade. Realizou-se uma



análise de umidade com três amostras de cada um dos cinco sacos no dia da coleta. Tais amostras apresentaram média de umidade de 61%.

Em seguida, o restante contido nos sacos foi disposto sobre lona plástica ao ar livre durante três dias e, posteriormente, transportado para dentro do laboratório, onde ficou exposto por mais uma semana, como visto na Figura 1.



**Figura 1: (a) Secagem do resíduo ao ar livre; (b) Aspecto bastante úmido da lama; (c) Lama após 30 horas de secagem.**

Após 30 horas de secagem, determinou-se nova umidade do resíduo. Tendo-se encontrado valores próximos a 9%. Uma semana depois, pôde-se prosseguir com a sua utilização. Fez-se necessária, entretanto, a execução de seu destorroamento, pois este, após a secagem, apresentava-se com aparência petrificada, aglutinando-se em pequenos torrões.

O destorroamento foi realizado com mão-de-geral e com o auxílio de uma peneira com abertura de malha de aproximadamente 4,8 mm.

Após 10 dias de secagem ao ar livre e posterior destorroamento, o que de início eram cinco sacos de lama, resumiram-se a dois sacos de pó, que foram armazenados até o seu uso, apresentando aproximadamente 2% de umidade.

O solo utilizado foi coletado numa fábrica de tijolos de solo-cimento situada no bairro Itararé, município de Vitória, Espírito Santo. Outra parte foi fornecida por outra empresa parceira nos estudos. Ao longo da pesquisa foram coletados cerca de 350 kg, que foram armazenados em sacos plásticos e transportados para o LEMAC-UFES.

Após ter sido efetuado o peneiramento em peneira 4,8mm, efetuou-se análise granulométrica via úmida em peneira de abertura nº200 (0,075mm), como mostra a Figura 2. O princípio da determinação da granulometria via úmida consiste no fato de que as partículas menores que a abertura da peneira de nº 200 (0,075mm), que dão um caráter mais argiloso ao solo, passam através da peneira, enquanto que partículas maiores ficam retidas.



**Figura 2: Análise granulométrica via úmida.**

Após a determinação da granulometria dos solos utilizados e a secagem do resíduo, pôde-se passar para a segunda fase da pesquisa, que consistiu na mistura dos constituintes e confecção dos tijolos para posterior execução de ensaios.

**RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA**

O resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais foi avaliado quanto à presença de umidade no dia da coleta, trinta horas após período de secagem e cem horas após período de secagem. Os resultados são apresentados na Tabela 1 a seguir:

**Tabela 1: Umidade nas amostras de resíduo.**

Tempo de Secagem	Amostras	Umidade (%)
Dia da coleta	Média 15 amostras	61,0
Após 30 horas	Média 1	29,34
	Média 2	9,45
Após 100 horas	Média 1	2,02
	Média 2	1,06

A média de umidade apresentada pelas amostras no dia da coleta foi de 61,0%. Após 30 horas, coletou-se amostras do resíduo de locais distintos do material por sobre a lona. Observou-se, em função disso, uma considerável diferença obtida para os valores médios de umidade. Após 100 horas, a diferença entre os valores caiu consideravelmente, indicando maior homogeneidade entre os valores de umidade do resíduo.

O solo utilizado para os trabalhos com tijolos de solo-cimento teve determinada a sua granulometria. Durante a pesquisa, três solos de diferentes origens foram utilizados, fazendo-se necessária a determinação das três granulometrias. Os resultados das análises granulométricas são apresentados na Tabela 2, a seguir:

**Tabela 2: Análise granulométrica do solo 1.**

Amostras	Massa Inicial (g) (M1)	Massa após secagem (g) (M2)	Razão M2/M1	Percentual de areia no solo
A	200,0	154,8	0,774	77,4%
B	200,0	157,0	0,785	78,5%
C	200,0	151,1	0,756	75,6%

A análise granulométrica do solo 1 forneceu um percentual médio de areia de 77,2%. A análise granulométrica do solo 2 é apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3: Análise granulométrica do solo 2.**

Amostras	Massa Inicial (g) (M1)	Massa após secagem (g) (M2)	Razão M2/M1	Percentual de areia no solo
A	200,0	146,0	0,730	73,0%
B	200,0	143,1	0,716	71,6%
C	200,0	145,2	0,726	72,6%

A nova análise granulométrica forneceu um percentual médio de areia de 72,4%.

Para a análise da granulometria do terceiro solo, fornecido por uma empresa parceira na pesquisa, procedeu-se de maneira diferente. Como o solo não foi previamente seco, houve a necessidade de se determinar a umidade presente no solo para posterior determinação de sua granulometria. Os valores de umidade nas amostras de solo e umidade média encontram-se na Tabela 4:

**Tabela 4: Determinação de umidade em amostras do solo 3.**

Amostras	Tara g (m1)	Cápsula + massa de solo úmida (g) (m2)	Cápsula + massa de solo seca (m3)	Percentual de umidade nas amostras
A1	20,8	149,0	136,5	9,72%
B1	21,3	159,4	146,1	9,63%
C1	20,4	146,8	135,0	9,32%
Umidade Média das Amostras				9,55%



A granulometria de cada uma das amostras é vista na Tabela 5:

**Tabela 5: Determinação de granulometria média no solo 3.**

Amostras	Massa inicial úmida [g] (M1)	Massa após secagem [g] (M2)	Umidade Média das amostras (%)	Percentual de areia na amostra
A	250,4	132,2	9,55%	58,4%
B	250,6	127,8		56,4%
C	250,6	128,0		56,5%
Granulometria Média			57,1%	

O terceiro solo foi considerado muito argiloso, apesar de se situar dentro dos limites estabelecidos pela norma NBR – 10833/1989 para utilização na fabricação de tijolos de solo-cimento. Não foram, portanto, confeccionados tijolos de solo-cimento com o solo 3 por este apresentar um teor de areia muito diferente dos solos 1 e 2.

## SEGUNDA ETAPA: CONFEÇÃO DOS TRAÇOS E REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

Após a determinação da umidade presente no resíduo e da determinação da granulometria do solo a ser utilizado, teve início a segunda etapa da pesquisa, que consistiu na confecção dos tijolos, seguida de avaliações de sua absorção de água e resistência à compressão.

De início, optou-se pela produção de tijolos em três traços com percentuais mínimos de adição de resíduo, definidos como os traços referência. Foram eles: 1:0,5:8; 1:0,5:10 e 1:0,5:14 (cimento:resíduo:solo, todos em volume).

Após a fabricação dos tijolos segundo cada traço e execução dos ensaios, escolhia-se o traço seguinte a ser produzido. Dessa forma o traço subsequente só era confeccionado após obtenção de todos os resultados referentes aos ensaios do traço anterior. Ao final da pesquisa, além dos 3 traços iniciais (traços referência) confeccionados, fabricou-se outros sete traços de tijolos. Foram eles: 1:1:8; 1:1:10; 1:2:10; 1:2:12; 1:2:14; 1:3:10; 1:3:12; (cimento:resíduo:solo, todos em volume).

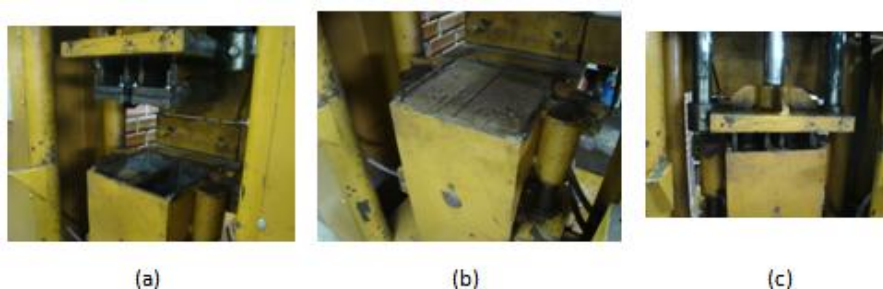
O processo de fabricação dos tijolos é descrito a seguir.

Após a pesagem dos constituintes, a mistura foi feita em betoneira disponível no laboratório. A adição de água foi feita experimentalmente até que a mistura atingisse o ponto adequado de umidade.

O ponto adequado foi determinado por meio de um experimento simples: tomava-se uma pequena quantidade da mistura, comprimindo-a bastante com as mãos. Em seguida, o torrão era disposto a uma altura de aproximadamente 1 (um) metro do chão e era solto. Caso o torrão se esfacelasse, dever-se-ia adicionar mais água à mistura; caso se quebrasse em pequenos pedaços, ainda aglutinados, o ponto de umidade estaria adequado.

A moldagem dos tijolos de solo-cimento foi feita com o auxílio de uma concha metálica, adicionando-se a mistura nas fôrmas até que estivessem cheias, e em seguida nivelando-se a quantidade de material com o auxílio de uma régua metálica, eliminando os excessos de mistura adicionados, como visto na Figura 3.





**Figura 3: (a) Fôrma de tijolos; (b) Mistura nivelada; (c) Prensagem.**

A prensagem dos tijolos foi feita após o nivelamento da mistura à fôrma, em prensa hidráulica semi-industrial, com capacidade máxima de prensagem de 300kgf/cm. O tempo estipulado para prensagem foi de cinco segundos.

Após a prensagem e moldagem dos tijolos, estes eram dispostos em tábuas de madeira e levados para a câmara úmida, como visto na Figura 4, onde sofreram aspersão de água e onde permaneceram por sete dias para processo de cura, que consiste em deixar o cimento em contato com a água para garantir sua hidratação e ocorrência de reações químicas que resultarão no desenvolvimento das resistências mecânicas e estabilidade volumétrica. Em seguida, permaneceram ao ar livre por mais sete dias, para então serem destinados aos ensaios.

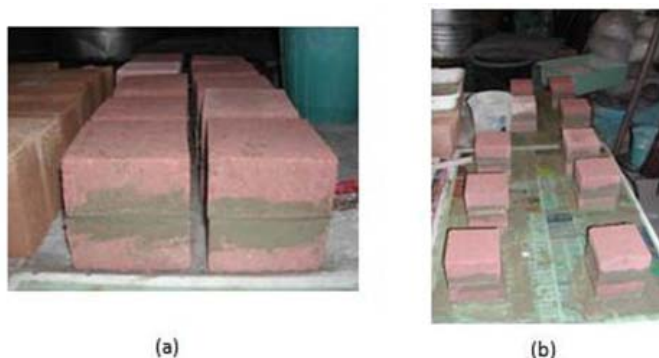


**Figura 4: (a) Tijolos produzidos; (b) Transporte para armazenagem.**

Os tijolos de solo-cimento confeccionados tiveram as suas propriedades (absorção de água e resistência à compressão) avaliadas aos 14 dias, idade mínima estipulada pela norma NBR – 10833/1989 para sua utilização. De cada lote fabricado, totalizando 14 tijolos, destinavam-se três para o ensaio de absorção de água; 10 para o ensaio de resistência à compressão; e um era conservado para avaliação estética comparativa entre os traços.

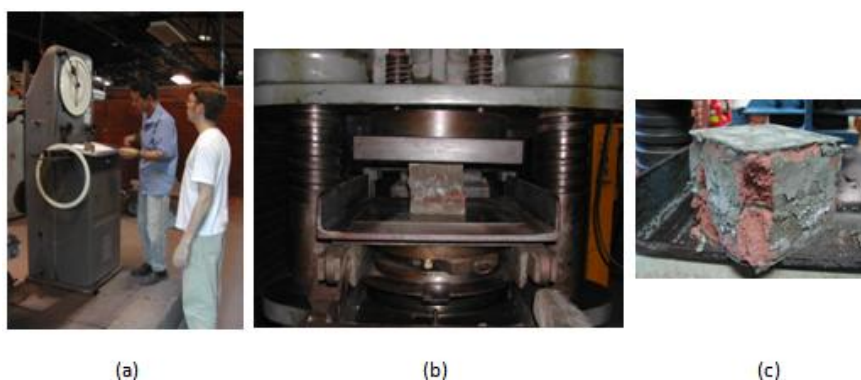
Os tijolos destinados ao ensaio de resistência à compressão foram cortados ao meio, pelo técnico responsável, em serra disponível no laboratório. Em seguida efetuou-se mistura de cimento CP-V e água, criando-se uma pasta. As duas metades dos tijolos foram então unidas com a referida pasta. Após 24 horas de secagem da pasta, pôde-se efetuar o capeamento de um dos lados dos blocos.

O processo de capeamento consiste no revestimento de ambas as superfícies dos corpos-de-prova, utilizando-se a mesma pasta de cimento CP-V e água, com o intuito de se nivelar as referidas superfícies para a devida utilização na prensa para o ensaio de resistência à compressão, garantindo que a força aplicada pela máquina seja igualmente distribuída sobre a superfície do corpo-de-prova. Após capeamento de um dos lados, espera-se por mais 24 horas para capeamento da face oposta, esperando-se por mais um dia. A Figura 5 ilustra o processo de capeamento de uma das faces do corpo-de-prova.



**Figura 5: (a) União dos lados do corpo-de-prova; (b) Corpos-de-prova com a primeira face capeada.**

Após endurecimento do material utilizado no capeamento, os corpos-de-prova foram identificados e imersos em água durante 24 horas. Após o período de 24 horas imersos em água, os corpos-de-prova foram retirados para ensaio, superficialmente enxugados e tiveram anotadas as suas medidas para cálculo de sua área e posterior cálculo de tensão suportada. Em seguida, foram destinados para o ensaio, como visto na Figura 6.



**Figura 6: (a) Preparação da máquina; (b) Corpo-de-prova durante ensaio; (c) Corpo-de-prova após ensaio.**

Para a determinação da absorção de água, executou-se ensaio de acordo com critérios descritos na norma NBR – 8942/1984.

Os três corpos-de-prova restantes foram secos em estufa, entre 105°C e 110°C, até que atingissem constância de massa, obtendo-se a massa seca M1 do tijolo, em g. Em seguida, os corpos-de-prova foram imersos em um tanque durante 24 horas. Após a retirada da água, foram superficialmente enxugados com pano úmido e pesados, obtendo-se a massa do tijolo saturada M2 em g. A razão entre as duas massas fornece o percentual de água absorvido.

Os processos descritos para confecção dos tijolos e execução dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água foram os mesmos para todos os traços de tijolos fabricados.

## RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Os resultados médios obtidos com a realização do ensaio de resistência à compressão com 10 corpos-de-prova para cada traço podem ser vistos na Tabela 6.



**Tabela 6: Resistência Média à Compressão [MPa] dos traços confeccionados.**

Traços	Resistência Máxima [MPa]	Resistência Mínima [MPa]	Resistência Média [MPa]
1:0,5:8	7,4	4,0	5,2
1:0,5:10	4,6	3,4	3,9
1:0,5:14	4,7	2,3	3,4
1 : 1 : 8	4,6	3,1	3,8
1 : 1 : 10	4,1	2,8	3,4
1 : 2 : 10	5,2	3,7	4,4
1 : 2 : 12	5,6	3,1	4,0
1 : 2 : 14	2,7	2,0	2,4
1 : 3 : 10	4,7	3,3	4,2
1 : 3 : 12	2,7	4,3	3,5

De acordo com os limites previstos na NBR – 8491, vistos na Figura 7, observa-se que todos os tijolos produzidos foram aprovados. Os seus traços foram, portanto, considerados aprovados.

Limites de Tolerância – Resistência à Compressão – NBR 8491/1989
Resistência Individual = 1,7 MPa
Resistência Média = 2,0 MPa

**Figura 7: Limites de Tolerância quanto à resistência à compressão.**

Escolheu-se os traços 1:3:10 e 1:3:12 como sendo os melhores traços confeccionados por consumirem os maiores percentuais de resíduo e por terem apresentado um valor satisfatório para resistência média à compressão, superiores aos limites de tolerância estabelecidos pela NBR 8491/1989.

Quanto aos resultados referentes ao ensaio de absorção de água, a NBR 8491 / 1989 estabelece os limites apresentados na Figura 8:

Limites de Tolerância – Absorção de Água – NBR 8491/1989
Absorção Individual = 22%
Absorção Média = 20%

**Figura 8: Limites de Tolerância quanto à absorção de água**

Os valores obtidos para a absorção de água referente ao ensaio dos 10 traços fabricados são vistos a seguir, na Tabela 7:

**Tabela 7: Absorção de água em cada traço fabricado.**

Traço	Absorção máxima de água [%]	Absorção mínima de água [%]	Absorção média de água [%]
1: 0,5 : 8	11,0	8,6	9,4
1: 0,5 : 10	21,3	19,0	20,4
1: 0,5 : 14	11,8	10,9	11,3
1 : 1 : 8	18,6	17,1	18,0
1 : 1 : 10	19,1	16,8	17,8
1 : 2 : 10	15,6	15,3	15,4
1 : 2 : 12	16,7	15,8	16,2
1 : 2 : 14	21,1	20,0	20,6
1 : 3 : 10	14,9	14,7	14,8
1 : 3 : 12	15,9	14,4	14,9

De acordo com os limites previstos na NBR – 8491, vistos no Quadro 2, observa-se que apenas os traços 1:0,5:10 e 1:2:14 foram reprovados, pois ultrapassaram o limite para absorção média. Todos os demais tijolos





produzidos foram aprovados. Os seus referidos traços foram, portanto, considerados aprovados.

Escolheu-se os traços 1:3:10 e 1:3:12 como sendo os melhores, pois apresentaram o maior consumo de resíduo, e valores satisfatórios para absorção de água, situados bem abaixo do limite estabelecido pela norma NBR 8491/1989.

### TERCEIRA ETAPA: ANÁLISE COMPARATIVA

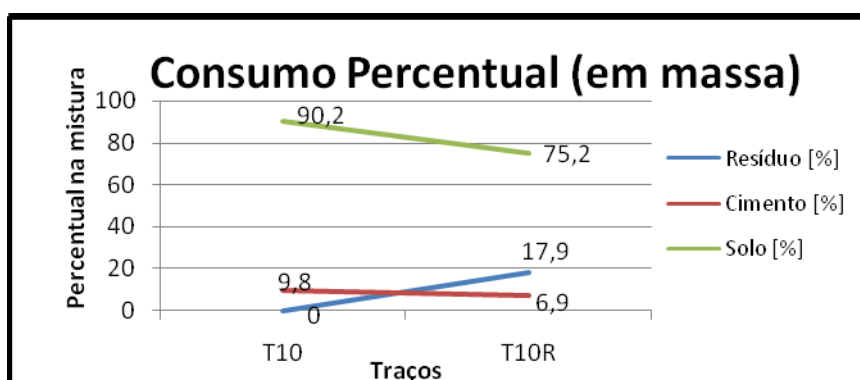
Tendo-se escolhido, dentre os traços avaliados, os dois últimos (1:3:10 e 1:3:12) para que fossem realizadas as análises comparativas de custos, fez-se a sua identificação da seguinte maneira, como mostra a Tabela 8:

**Tabela 8: Identificação de traços comparados.**

	Traço em volume (cimento:resíduo:solo)	Identificação
Sem Resíduo	1 : 0 : 10	T10
	1 : 0 : 12	T12
Com Resíduo	1 : 3 : 10	T10R
	1 : 3 : 12	T12R

Comparou-se, portanto, o T10 com o T10R; e o T12 com o T12R, analisando-se em quanto se reduz o consumo dos insumos quando se faz a adição do resíduo de beneficiamento de rochas.

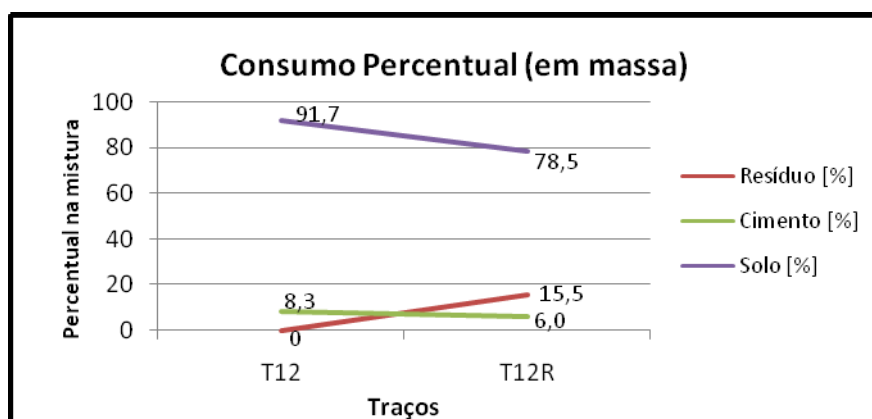
O resultado obtido com o primeiro traço escolhido (T10R) é apresentado na Figura 9.



**Figura 9: Consumo Percentual dos constituintes no traço 1:10 (em massa).**

Observa-se que com a adição do resíduo, diminuiu-se a quantidade de cimento e de solo utilizadas para confecção dos tijolos.

O resultado obtido com o segundo traço escolhido (T12R) é apresentado na Figura 10.



**Figura 10: Consumo Percentual dos constituintes no traço 1:12 (em massa).**



Também como visto anteriormente, a adição de resíduo resultou em diminuição dos demais constituintes na fabricação dos tijolos.

## RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

As quantidades de cimento e solo utilizadas em ambos os traços (com e sem adição de resíduo) é vista na Tabela 9.

**Tabela 9: Consumo de insumos em tijolos nos traços T10 e T10R.**

SEM RESÍDUO	Traço T10 (em volume)	Traço T10 (em massa)	% Massa (em 1 tijolo)	Massa dos constituintes para 1 tijolo (kg)	Massa [kg] (1000 tijolos)
Cimento	1	1	9,84	0,28	275,4
Resíduo	0	0	0	0	0
Solo	10	9,17	90,16	2,52	2524,6

COM RESÍDUO	Traço T10R (em volume)	Traço T10R (em massa)	% Massa (em 1 tijolo)	Massa dos constituintes para 1 tijolo (kg)	Massa [kg] (1000 tijolos)
Cimento	1	1	6,90	0,19	193,1
Resíduo	3	2,59	17,87	0,5	500,3
Solo	10	10,91	75,23	2,11	2106,6

Observa-se que quando se confecciona o referido traço sem a adição do resíduo, o consumo de cimento em um tijolo chega a quase 10% de sua massa total. Esse valor cai para menos de 7%, quando se faz a adição de resíduo na quantidade proposta. Diminui-se também a quantidade de solo utilizada, variando de 90% da massa de um tijolo, para cerca de 75%. Tais números ganham mais relevância quando se considera, por exemplo, a fabricação de 1000 tijolos, que sem o resíduo, no traço estudado, previam o gasto de 275 kg de cimento, caindo em quase 30%, para 193 kg de cimento. Além disso, estima-se a utilização de cerca 500kg de resíduo, para a fabricação da mesma quantidade de tijolos.

O resultado obtido com o segundo traço escolhido (T12R) é apresentado na Tabela 10.

**Tabela 10: Consumo de insumos em tijolos nos traços T12 e T12R.**

SEM RESÍDUO	Traço T12 (volume)	Traço T12 (massa)	% Massa (1 tijolo)	Massa (1 tijolo)	Massa (1000 tijolos)
Cimento	1	1	8,33	0,23	233,33
Resíduo	0	0	0	0	0
Solo	12	11	91,67	2,57	2566,67

COM RESÍDUO	Traço T12R (volume)	Traço T12R (massa)	% Massa (1 tijolo)	Massa (1 tijolo)	Massa (1000 tijolos)
Cimento	1	1	6,00	0,17	167,85
Resíduo	3	2,59	15,53	0,43	434,88
Solo	12	13,09	78,47	2,20	2197,27

Como no traço anterior, observa-se aqui uma diminuição tanto na quantidade de cimento, quanto na quantidade de solo utilizada. Em se tratando de um traço mais econômico em comparação ao anterior, visto que a quantidade de solo utilizada é maior, a redução no consumo de cimento é ligeiramente menor, chegando a pouco mais de 28%.

O traço (1:3:12) prevê uma utilização menor de resíduo que o traço (1:3:10) anterior (15,53% contra 17,87% em um tijolo), entretanto, observa-se que o consumo de cimento no segundo traço também é menor (6,00% contra 6,90%).

Observa-se, desta forma, reduções consideráveis no consumo de cimento e de solo na fabricação de tijolos de



solo-cimento com adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais, que certamente significam redução nos custos de fabricação.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A fabricação de tijolos de solo-cimento com adição de resíduo é viável dentro dos parâmetros analisados.

A resistência à compressão ficou acima dos 2,0 MPa na avaliação média de ambos os traços escolhidos. Além disso, nenhum corpo-de-prova foi reprovado na análise individual de resistência à compressão, apresentando valores superiores aos 1,7 MPa, exigidos pela norma NBR 8492/1989. O traço T10R apresentou resistência média de 4,23 MPa e o traço T12R apresentou resistência média de 3,54 MPa.

Também nos ensaios de absorção de água os corpos-de-prova analisados apresentaram bons resultados em ambos os traços, situando-se abaixo dos limites individual, de 22%, e médio, de 20%, estabelecidos pela mesma norma. O traço T10R apresentou absorção média de 14,8%, enquanto o traço T12R apresentou absorção média de 14,9%. Os resultados de absorção de água não apresentaram influências da adição do resíduo, como visto por Calmon et al. (1998).

Verificou-se ainda que, com a adição do resíduo, pode-se obter redução de custos da ordem de 30% apenas considerando-se a diminuição da utilização do cimento para os referidos traços.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). Conheça as Rochas Ornamentais. Noções Gerais do Beneficiamento. São Paulo. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais\\_04.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04.php)> . Acesso em: 16 de Janeiro de 2009.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491: Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Especificação. Rio de Janeiro, 1984.
3. \_\_\_\_\_. NBR 8492: Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção d'Água – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984.
4. \_\_\_\_\_. NBR 10833: Fabricação de Tijolo Maciço e Bloco Vazado de Solo-Cimento com Utilização de Prensa Hidráulica – Procedimento. Rio de Janeiro, 1989.
5. CALMON, João Luiz; TRISTÃO, Fernando A.; LORDÊLLO, Fernando. S. S.; DA SILVA, Sérgio A. C.; MATTOS, Flávio. V. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de tijolos de solo-cimento. In: VII ENTAC – VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1998, Florianópolis. Anais...Florianópolis: ANTAC, 1998.
6. REIS, Alessandra Savazzini dos. Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil. 2008. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/Espírito Santo. 2008.